連載 オーディオ計測の散歩道

# 2音法を利用したオーディオ測定

## （1） リサージュによる観測

■小倉幸一■

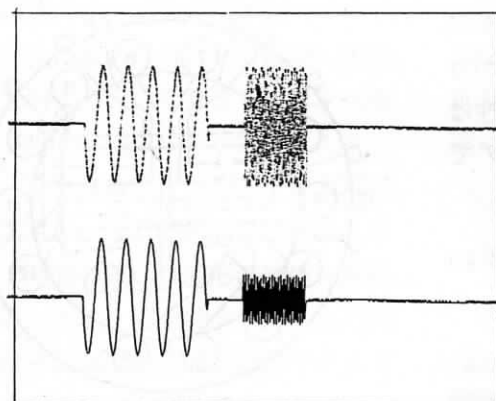
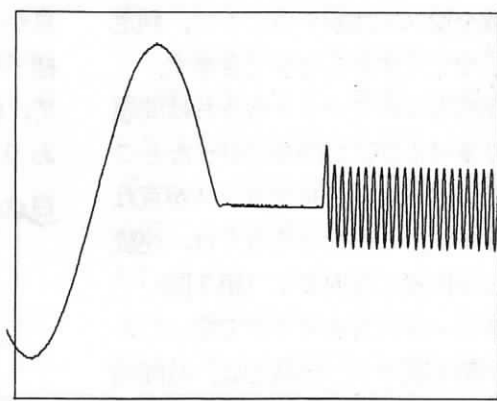
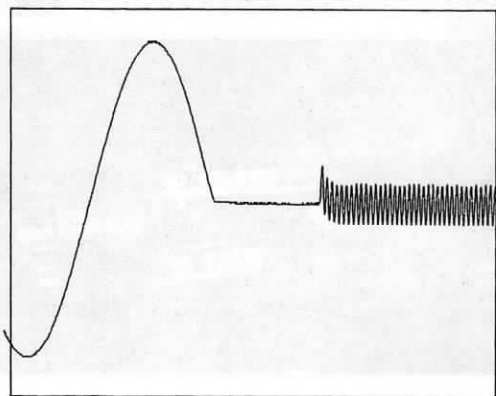
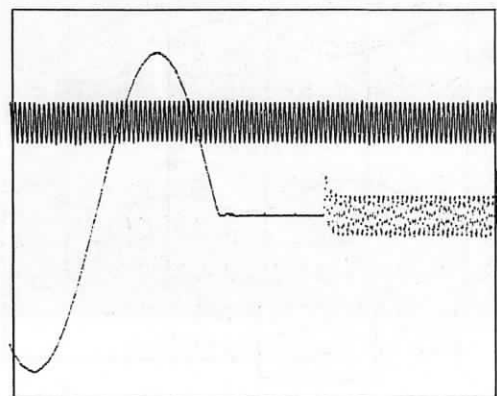
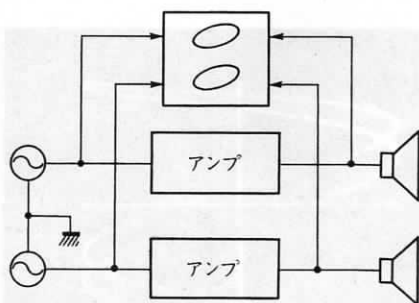
いつも述べていることですが，この散歩道は最終結果の発表というより，そこに至る実験過程の発表を主に心がけています．計測，測定のおもしろさ，見えないものが見えてくる……．そんな楽しさや期待をもって稿を進めていく考えです．MFBの実験もなつかしい思い出の1つです．オーディオの感覚の世界へ，刺激音や計測手法の工夫でどうアプローチするか，訳知りの先達というより，手探りで，迷い道でも実証に実証を重ねて提示していきたいと考えています．

提示の内容はやはり波形中心です．ゴチャゴチャした波形のどこがどう人の感動を引き起こす“きっかけ”になっているか，瞬時の波形そのものもありましょうし，エンベロープに意味が生ずる場合にも注目していきたいと思っています．

これから登場する主役の2音につき，呼称記号を決めておきます．5月号第4図と同じものですが，2音をまとめて1信号とした場合，その繰り返し時間が抜けていました．これをTrとします．

5月号ではスイッチの接触問題より2音法での聴感実験に多くのページを割いてしまい，今月の前宣伝的内容になってしまいましたが，ミスプリントがありましたので，訂正しておきます．写真Aの波形（エンベロープ）が左右逆になっています．正しくは通常の立ち上がり，立ち下がりのパターンと同じです．ついでながら写真Cの説明文中“進行波の動きを示す”は“進行波の動きを体感できる”実験装置と改めます．ベケシー教授は，来客があると，いつもこれに腕をのせてもらっては体感実験をして納得させていました．

### 実験：「f特をみる」

実験の最初は，2音法を使ったf特の実験です．2音法は，1kHz（基準，固定）と10kHz（変化，高域測定

◀〈第1図〉1kHzと10kHzのバースト波．ディジタル・オシロ使用

〈第2図〉▶ 1kHzと30kHzのバースト波

◀〈第3図A〉1kHzと50kHzのバースト波

〈第3図B〉▶ 1kHz＋50kHzバースト波と50kHz連続波

〈第9図〉独立2ビーム・オシロでは位相の観察も容易にできる

〈第10図〉リサージュ波形が描かれる経過を説明すると

《写真B》第10図の実際の波形．垂直軸の振幅が小さいので偏平になっている

ラウン管胴体に出ています．

これで2現象化は完璧かと思いきや，一難去ってまた一難，2現象の時間的比較をしようとするとき，両スポットがピッタリ合っていないようなことが起こりえます．この点1ビーム方式に軍配が上がりますが，2ビーム方式も負けてはいません．完全独立，XY系の活用で独壇場が開けます．オーディオにとって隠れた主役（?）である位相特性，これが自由に計測できることです．

この応用として，ステレオLR間の位相関係とその変化を見ることができます．ステレオ入力L，Rと出力L，Rのリサージュ・パターンを比較しようというわけです．

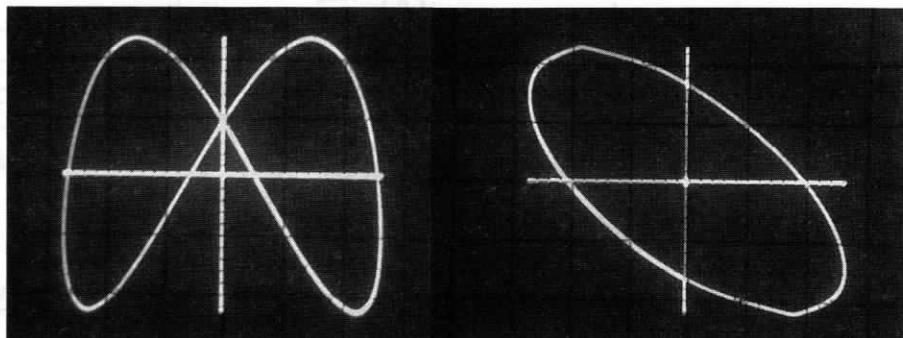
独立スイープ2系統が同一スクリーン上に表わせることは観察の自由度を増すことになります．エンベロープとその中の1点の拡大スイープ，これは観察だけならすぐ実現できますが，写真記録となると，スイープ時間の違いは波形の輝度に直接関係します．完全独立2ビーム方式ではその輝度も別個に調節できますから，たいへん便利です．

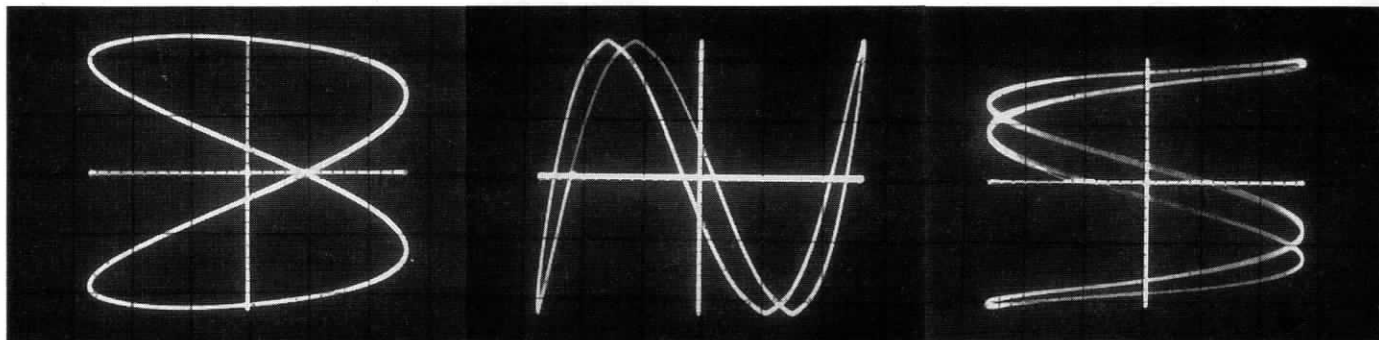
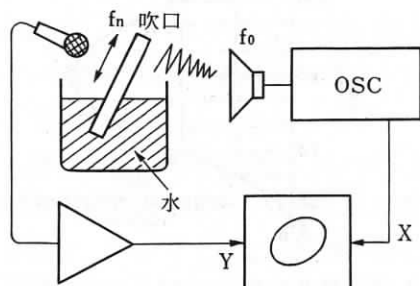
**第9図**に図解しますが，同一スクリーンであることから，ポジション・コントロールで重ね合わせての比較もできます．音楽で連続してリサージュを描かせていると，時々刻々，つぎつぎに変化していくパターンに追従していくのがやっとで，ある瞬時の比較を行うことはできません．そこで，ここぞと思うところをディジタル・オシロに取り込むことをします．取り込む時間をディジタル・オシロのスイープ時間Tx/div.で決めます．ディジタル・オシロにとりこんだ信号（2系統）は波形表示にしたり，リサージュにしたりできます．

完全2ビーム4組偏向電極を少し簡単（合理化?）したものに，2ビーム3組偏向電極構造のブラウン管もあります．これは時間軸偏向1組を，垂直2ビームに関して両ビームに共通に使おうというものです．

## リサージュ・パターンとその見かた

ここでリサージュ・パターンがどうしてできるか，復習しておきましょう．リサージュ・パターン（以下LJP）は，図形としてみれば2つの時間軸波形をX，Y平面に展開したものですが（**第10図**），このままでは時間情報は失われてしまいます．「このままでは」とことわったのは，アナログ・オシロを使えば，後で述べるZ軸の活用で時間の進行を見ることができるからです．

**第10図**に戻りましょう．(A)の2つの波形は90度位相が違っています．これをLJPにしてみましょう．2つの波形の1つを垂直軸へ，他を水平軸へ加えます．水平，垂直入力に加えられる波形の各時点に番号とダッシュつき番号を付けます．時刻0時点から時間の経過に従って交点1-1′，2-2′……を作っていきます．つまり，水平波形は1を右へ，垂直波形は1′を上へ延ばし交点を得るの

《写真C》f1＝2×f2のとき

《写真D》2波形の位相差135°のとき

《写真 E》垂直/水平が 1：2 のとき　《写真 F》垂直/水平が 3：1 のとき　《写真 G》垂直/水平が 1：3 のとき

〈第 12 図〉子供たちに笛の音の高さを確かめさせる実験

0° 360°　22.5° 337.5°　45° 315°　67.5° 292.5°　90° 270°　112.5° 247.5°　135° 225°　157.5° 202.5°　180°

〈第 13 図〉2 つの波形の位相差とリサージュ波形

です．1-1′，2-2′，3-3′ をつないでいくと，90 度のパターンができます．

これを実際のオシロの画面で作った見たものが**写真 B** です．

同じく 2 つの信号の波長数が違っている場合の LJP を作ってみましょう．f1＝2×f2 の場合，**第 10 図**と同様に記号を追跡してみてください．**写真 C** に実際を示します．

**第 10 図**は周波数は同じで，2 信号（系の入出力等）の位相変化を知りたいとき，**写真 C** は 2 信号の周波数比を知りたい時に使います．

**第 10 図**の応用として，他の位相差の LJP を**写真 D** に，**写真 C** の応用で 1/2 倍，3 倍，1/3 倍を**写真 E，F，G** に示しておきます．周波数比で f1，f2 が入れ替わると，パターンが 90 度回ったものになることも理解できると思います．したがって，f1，f2 が近づくと，LJP は複雑になってきます．

〈第 11 図〉周波数比が同じでも位相がちがうと下のように波形はちがってくる

## LJP の定量的扱い

**(a) LJP による周波数比の求めかた**：LJP を静止画として見たとき，水平，垂直での波形ピークの数を数えることで判明します．ただし，f1，f2 が**第 11 図(A)と(B)**の場合，その比は同じでも時間ずれの状態が違うと，図としては(C)(D)のように一見違ったものに見えてしまいます（参考文献*1）．しかも，このパターンをオン・ラインで（オシロ面上）認識するには，少なくとも 1 秒程度は静止画的になっていないといけません．1 kHz 付近では 1000 回程度の安定した重なりが必要です．

筆者が実用に使った例を紹介しましょう．**第 12 図**は“お化け笛”と称して，手作りの笛の音程合わせに活用したものです．音色の違う 2 音の高さを感覚的に覚える以前の子供たちに，この LJP を見せながら笛を水に沈める程度を決め，筒に目盛りをつけるのに使いました．

**(b) 位相差の読みとり**：水平，垂直 2 波形の位相差を LJP から読みとる図的方法は多くの文献に出ていますから，**第 13 図**に代表例を掲げて置くに止めます．

●参考文献：ENCYCLOPEDIA ON CATHOD-RAY OSCILLOSCOPES